

Aktuelle Entwicklung von Multi-Material-Systemen in der Luftfahrtindustrie

D. Meiners

Technische Universität Clausthal, Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik

Meiners@puk.tu-clausthal.de

Abstract

Entwicklungen aus der Vergangenheit, als auch Abschätzungen für die Zukunft, belegen, dass sich das Verkehrsaufkommen in der Luftfahrt ca. alle 15 Jahre verdoppelt. Die Hersteller sind somit verpflichtet neben der Bereitstellung von fast 30.000 Flugzeugen in den nächsten 20 Jahren, leichte und damit effiziente Fluggeräte zur Verfügung zu stellen. Um dieses Ziel erreichen zu können, müssen neue Werkstoffe bzw. Multi-Material-Werkstoffe entwickelt und eingeführt werden. Der Werkstoff GLARE als auch CFK-Materialien aus duro- und thermoplastischen Werkstoffen waren die Vorreiter im heutigen Leichtbau: In der Zukunft geht es darum diese Materialien hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit wie z.B. der Montage, Lastaufnahme, Beanspruchung etc. zu optimieren. Multi-Materialsysteme können hier der entscheidende richtige Weg sein.

Die Entwicklung und der Markt von zivilen Verkehrsflugzeugen ist seit Jahren geprägt durch die Anforderungen

- Wachstum und
- Effizienz der Flugzeuge

Bei einem durchschnittlichen, jährlichen Wachstum von ca. 5 % hat sich das Verkehrsaufkommen in den letzten Jahrzehnten alle 15 Jahre verdoppelt.

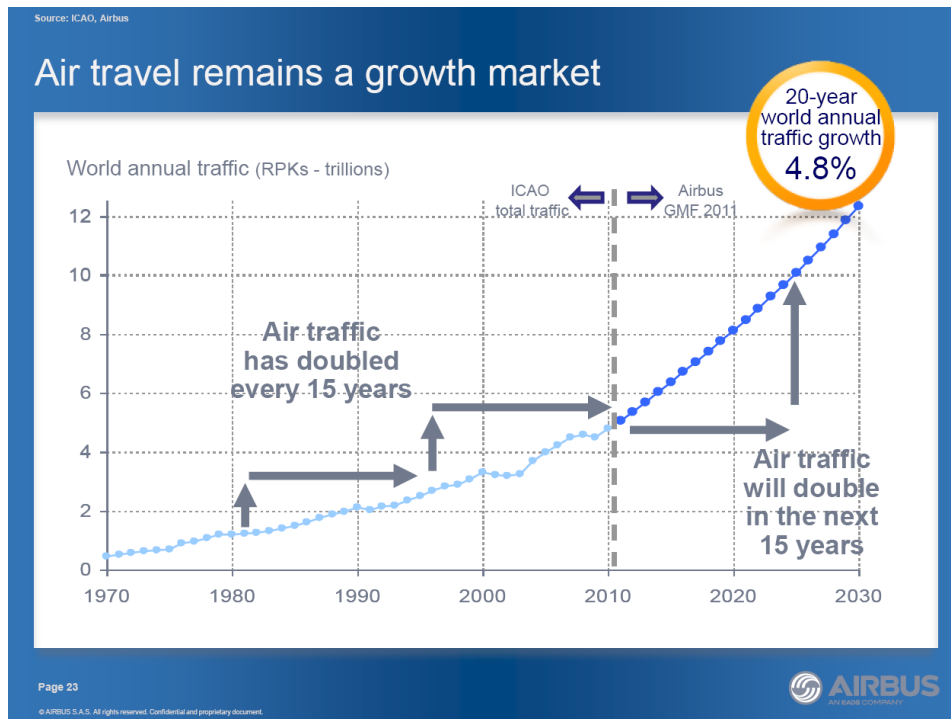


Abb. 1: Entwicklung des Luftfahrtbereiches; Quelle: Airbus GMF 2011-2030

Diese Entwicklung findet sich auch in den monatlichen Produktionszahlen/Kadenzen der Hersteller wieder.

Wurden z. B. bei Airbus 1980 noch 4 Flugzeuge pro Monat produziert, so sind es heute 60-70 Flugzeuge im selben Zeitraum.

Abschätzungen sowohl von Airbus als auch Boeing gehen für die Zukunft von ähnlichen Szenarien aus, wobei sich natürlich die Wachstumsmärkte in Europa, Asien etc. unterschiedlich entwickeln.

Belegt werden diese Annahmen durch bereits verkaufte Flugzeuge mit einer Produktionsgesamtauslastung von 5-6 Jahren, dies gilt sowohl für Airbus als auch Boeing. Zusammen gefasst planen beide Hersteller für die nächsten 20 Jahre mit einem Bedarf von weltweit ca. 30.000 Flugzeugen, diese Zahlen beinhalten Ersatz-, als auch Neufahrzeuge.

Dieser prognostizierte Bedarf erfordert erhebliche Anstrengungen von den bestehenden Lieferanten wie Airbus, Boeing, Bombardier und Embraer als auch von den neuen Lieferanten aus China, Russland und Japan.

Das Marktvolumen wird sich somit in den nächsten Jahren, insbesondere im Bereich „Single-Aisle“-Flugzeuge wie die A320- oder 737-Familie auf mehrere Produzenten verteilen.

Der entsprechende Marktanteil wird dabei auf 23.000 von den bereits genannten 30.000 Flugzeugen geschätzt. Damit ist offensichtlich, dass die Lieferperformance alleine nicht den Verkaufserfolg bestimmt. Wer erfolgreich sein Produkt am Markt platzieren möchte, muss zusätzlich zur Zuverlässigkeit auch die Wirtschaftlichkeit seines Produktes unter Beweis stellen.

Insbesondere die Faktoren

- Produktlebensdauer
- Wartungsfreundlichkeit und
- Kerosinverbrauch

bestimmen hier den Markterfolg.

Um diesen Anspruch der Kunden Rechnung zu tragen, müssen die Lieferanten kontinuierlich ihre Produkte weiter entwickeln.

Bei Neuentwicklungskosten von 10-15 Milliarden Euro pro Flugzeugtyp wie z. B. für die A380, A350 oder der Boeing 787, versuchen natürlich alle Lieferanten im Schwerpunkt die bestehenden Produkte evolutionär weiter zu entwickeln, dies gilt z.B. für das A320 Neo- oder das 737 Max-Programm.

Mit einem Abfluggewicht von 560 Tonnen für die A380, liegt natürlich das Hauptaugenmerk der Kunden und Produzenten auf dem beeinflussbaren Strukturgewicht.

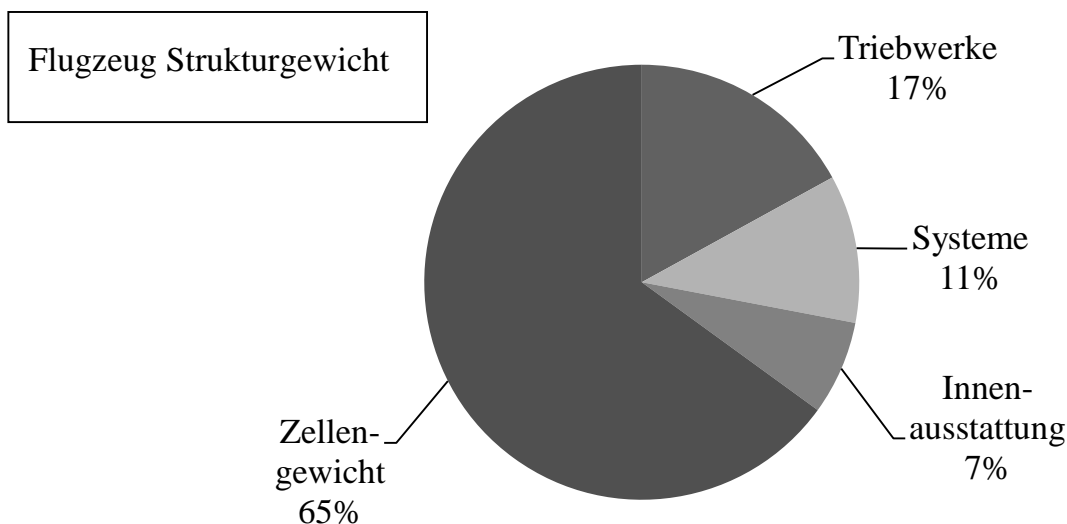


Abb. 2: Aufteilung Strukturgewicht; Quelle: AIRBUS

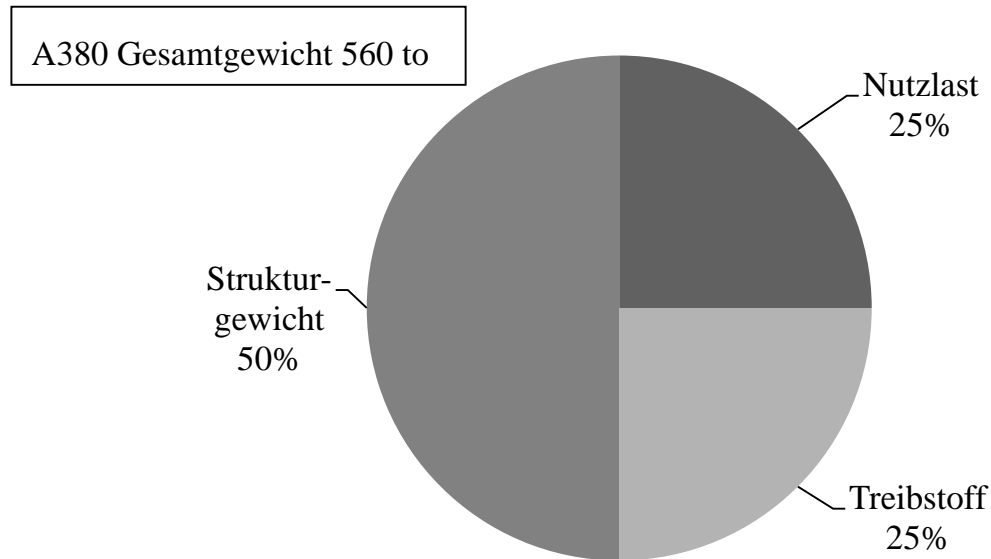


Abb. 3: Aufteilung Flugzeuggesamtgewicht (Beispiel A380) Quelle: AIRBUS

Aus dieser Darstellung wird die Hebelwirkung des Leichtbaus erkennbar. Bei einer 10%-igen Reduzierung des Strukturgewichtes erzielt der Kunde eine 20%-ige Erhöhung der Nutzlast.

Getragen von den dimensionierenden Größen wie

- Statische Lastfälle
- Ermüdung = Rissentstehung
- Schadentoleranz = Rissausbreitung

der Konstruktion,

der Fertigung

- Teilefertigung
- Montage
- Oberflächenschutz

und der In-Service Thematiken wie

- Korrosion
- Thermische Stabilität
- Detektierbarkeit von Schäden

- Reparierbarkeit von Schäden

werden alle Werkstoffe, Materialien und Materialsystemen diesem Anforderungsprofil unterzogen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Rumpf einschließlich Flügel, Seiten- und Höhenleitwerk unterschiedlich belastet und damit ausgelegt werden.

Bei der Auslegung und Berechnung unterscheidet man z. B. bei der A380 zwischen 12 unterschiedlichen Lastbereichen.

So sind z. B. die Rumpfoberschalen auf Rissfortschritt ausgelegt, wobei für das Seiten- und Höhenleitwerk die statische Festigkeit der dimensionierende Faktor darstellt.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden in der Vergangenheit insbesondere Alu-Legierungen wie 2024/2524 bis 7475 oder Al-Li (C47A) mit Zugfestigkeiten von 420-460 MPa und einem E-Modul von 69-77 GPa verwendet.

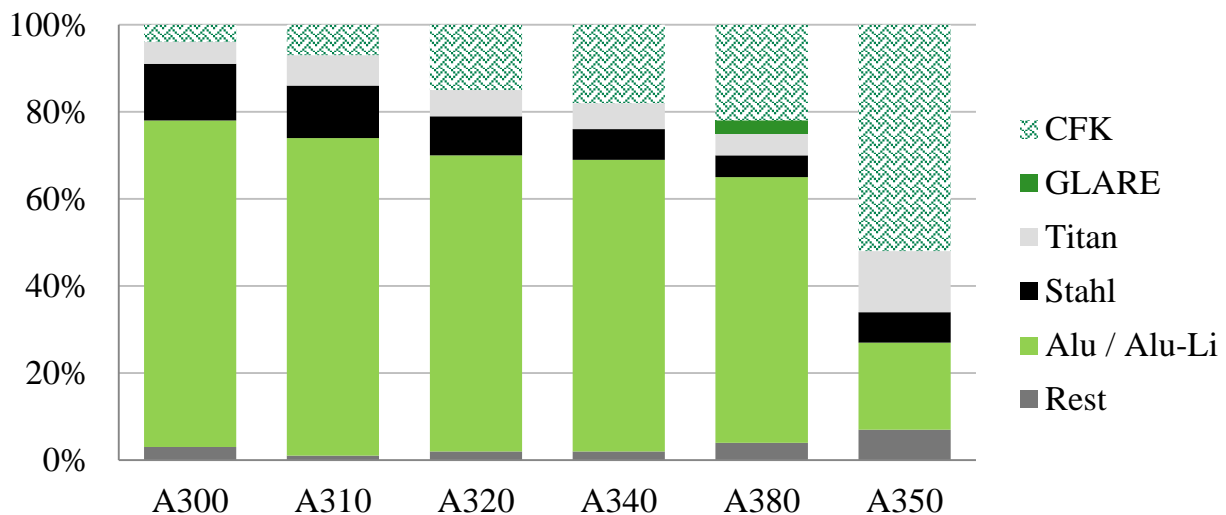


Abb. 4: Verteilung Materialanwendung Quelle: AIRBUS

Mit der Notwendigkeit das Strukturgewicht weiter zu reduzieren wurde in den 90'er-Jahren erstmalig der Verbundwerkstoff GLARE (Glass Laminated Aluminum Reinforced Epoxy) eingesetzt. Da dieser Werkstoff abwechselnd schichtweise aus Alu-Folie (Material 2024-T3) mit einer Stärke von 0,3-0,4 mm und mit FM94-Epoxy getränkten unidirektionalen Glasfasern mit einer Schichtstärke von 0,125 mm aufgebaut ist, konnte erstmalig bei einer Dichte von 2,45 g/cm³ und verbesserten Werkstoffkennwerten das Strukturgewicht reduziert werden.

In der A380 wird dieses Material bereits in der Serie im Rumpfbereich verwendet. Mit der Umstellung von Alu-Legierungen zu GLARE war der erste Schritt zur Einführung von Multi-Material-Systemen im Rumpfbereich getan. Es lag somit relativ nah, dass der Leichtbauwerkstoff CFK mit einer Dichte von 1,6 g/m³ und seinen optimalen

Fatigue-Eigenschaften ein optimaler Werkstoff für den Rumpf sein könnte. Unter dieser Voraussetzung begannen die großen Hersteller, Boeing und Airbus in 2000-2014 mit der Entwicklung der Boeing 787 und der Airbus A350, den Leichtbauwerkstoff CFK großflächig einzusetzen, doch neben den bereits realisierten Komponenten wie Seiten,- und Höhenleitwerk wurde jetzt auch der Rumpf und der Flügel komplett umgestellt.

Mit einer Dichte von $1,6 \text{ g/cm}^3$ und Materialkennwerten von 2.000 MPa und 140 GPa konnte ein theoretisches Einsparpotenzial von 40 % im Gewicht erreicht werden. Aufgrund der Impact-Anfälligkeit des Materials mussten aber insbesondere im Tür- und Torrahmenbereich Titanstrukturen zur Verstärkung eingesetzt werden. Titan ist bezogen auf die Korrosionsbeständigkeit gegenüber CFK der ideale Partner, mit einer Dichte von $4,5 \text{ g/cm}^3$ reduziert sich aber das mögliche Gewichtseinsparpotential erheblich. Somit ist offensichtlich, dass Airbus das bestehende Konstruktionsprinzip von der A350-900 zur A350-1000 mit einer Rahmenkonstruktion aus CFK umstellen wird.

Weitere Einsparpotenziale gibt es im Bereich der Rumpfstruktur. Ausgelöst durch den klassischen Aufbau, bestehend aus duroplastischen Stringern und Spanten sowie thermoplastischen Clips müssen alle Komponenten über Nieten verbunden werden.

Grundlagenuntersuchungen am Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik ermöglichen erstmalig Schweißverbindungen zwischen Duroplasten mittels integrierter Thermoplastfolie in den Grenzschichten der duroplastischen Bauteile.

Das Einbringen von Nietverbindungen und das gleichzeitige Zerstören der CFK-Fasern im Bohrungsbereich könnte damit signifikant reduziert werden.

Ein weiteres Kernproblem im Flugzeugbau ist das Einbringen von Haltern und Lasteintragsstellen im Rumpfbereich. Zur Aufnahme von Einbaukomponenten werden heute über 10.000 Halter im Rumpf montiert.

Im Rahmen eines SPP wird zurzeit mit den Universitäten Hannover, Braunschweig und Clausthal ein partielles Laminat aus metallischen Folien und CFK-Laminaten entwickelt um diese Anschlussmöglichkeiten bereits im Einzelteilprozess vorzubereiten. Dieser neue Anschluss hat zum Vergleich zur klebetechnischen ONSERT-Verbindung eine um 700% verbesserte Grenzflächenanbindung, verbunden mit einer optimierten Krafteinleitung.

In Ergänzung zu diesen Multi-Material-Systemen, gibt es aktuell Überlegungen die Lastaufnahmemittel selbst mittels 3D-Druck und Faserverstärkung in Net-shape Format herzustellen.

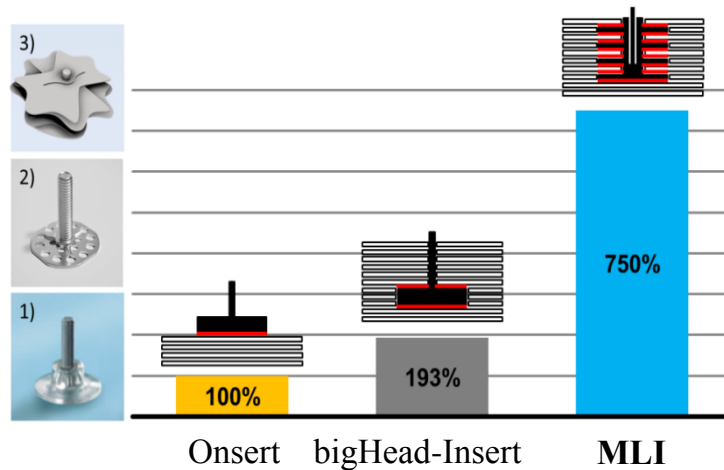


Abb. 5: Grenzflächenvergleich verschiedener Insert-Varianten

In der Luftfahrt als auch in der Fahrzeugindustrie ist klar erkennbar, dass Schwarz/Weiß Lösungen für den Materialeinsatz nicht das Optimum darstellen.

Vielmehr sind die unterschiedlichen Anforderungen an das Produkt bzw. die Produktzone zu berücksichtigen.

Nur so kann das bestmögliche Material für den jeweiligen Einsatzfall hinsichtlich Gewicht, Belastung, Fatigue etc. bestimmt werden. Multi-Material-Systeme können hier der entscheidende richtige Weg sein.

Literatur

- [1] Meiners, D.: Prozess-Automatisierung von CFK-Strukturen in der Luftfahrtindustrie. Vorlesung, Technische Universität Clausthal, 2014

Autorenanschriften

Prof. Dr.-Ing. Dieter Meiners
 Technische Universität Clausthal
 Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik
 Agricolastraße 6
 38678 Clausthal-Zellerfeld
 Telefon: 05323-721910
 Telefax: 05323-722324
 E-Mail: meiners@puk.tu-clausthal.de